

УДК 669-131.4

**А. Е. Устинов<sup>1,2\*</sup>, В. Ю. Ярков<sup>1,2</sup>, Э. Г. Мурадян<sup>1</sup>, В. И. Пастухов<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup> Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург<sup>2</sup> Институт реакторных материалов, г. Заречный

\*sanya.ustinow@yandex.ru

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук М. Л. Лобанов

## СТРУКТУРА СТАЛИ X12HMBBФCР ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ И ОТПУСКА

Сканирующей электронной микроскопией, в том числе с использованием ориентационного анализа (EBSD), была исследована структура стали X12HMBBФCР после закалки и высокого отпуска. Установлены фазовый состав стали и морфология элементов структуры:  $\delta$ -феррита, мартенсита, карбидов NbC, а также наличие в изделии выраженной кристаллографической структуры.

*Ключевые слова:* закалка, отпуск, EBSD-анализ, мартенсит, феррит, рэстровая электронная микроскопия, точечный метод

**A. E. Ustinov, V. U. Yarkov, E. G. Muradyan, V. I. Pastukhov**

## STRUCTURE ALLOY STEEL Cr12–Ni–Mo–W–Nb–V–Si–B QUENCHED-AND-TEMPERED

Scanning of electronic microscopy is made, including with use EBSD the structure has been investigated became after training and high tempering. The phase structure, morphology  $\delta$  — ferrite, martensite, large carbides NbC, and as presence in a product expressed crystallographic structures became established.

*Key word:* hardening tempering, EBSD-analysis, martensite, ferrite, scanning electron microscope, point contact method

**Д**ля развития атомной промышленности в России необходимо создание современных ядерных реакторов на быстрых нейтронах с применением материалов, обладающих оптимальными свой-

ствами для работы в условиях повышенных температур при влиянии коррозионно-активных сред под действием длительного облучения. Ярким примером является сталь X12HMBBFSP, которая обладает оптимальными коррозионными свойствами, незначительным радиационным распуханием, хорошим сопротивлением ползучести при высоких температурах. Химический состав представлен в табл. форме.

Работа посвящена анализу фазовых и структурных составляющих стали после закалки и высокого отпуска.

Химический состав стали X12HMBBFSP, мас. % [1]

Fe	Cr	Ni	Mn	V	Nb	W	Mo	Si
83,8	11,3	0,9	0,6	0,3	0,3	0,7	0,8	1,2

Закалка проводилась при  $t = 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а высокий отпуск при  $t = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1].

Исследования были выполнены на сканирующем электронном микроскопе MIRA3 FEG-SEM, оснащенный детектором дифракции отраженных электронов (EBSD) Oxford Instruments Nordlys Nano [2].

Для определения параметров зеренной структуры в работе были использованы возможности программного обеспечения Oxford Instruments, а также стандартные методы обработки изображений: метод случайных секущих и точечный метод [3; 4].

Проведенное исследование стали X12HMBBFSP после термической обработки показало (рис.), что ее структура состоит из мартенсита, остаточного феррита и крупных карбидов на основе Nb (округлые светлые частицы как по границам, так и в теле зерен). По границам ферритных зерен и мартенситных реек, вероятно, образуются карбиды типа  $M_{23}C_6$ .

В работе методами металлографии были определены геометрические характеристики фазовых и структурных составляющих.

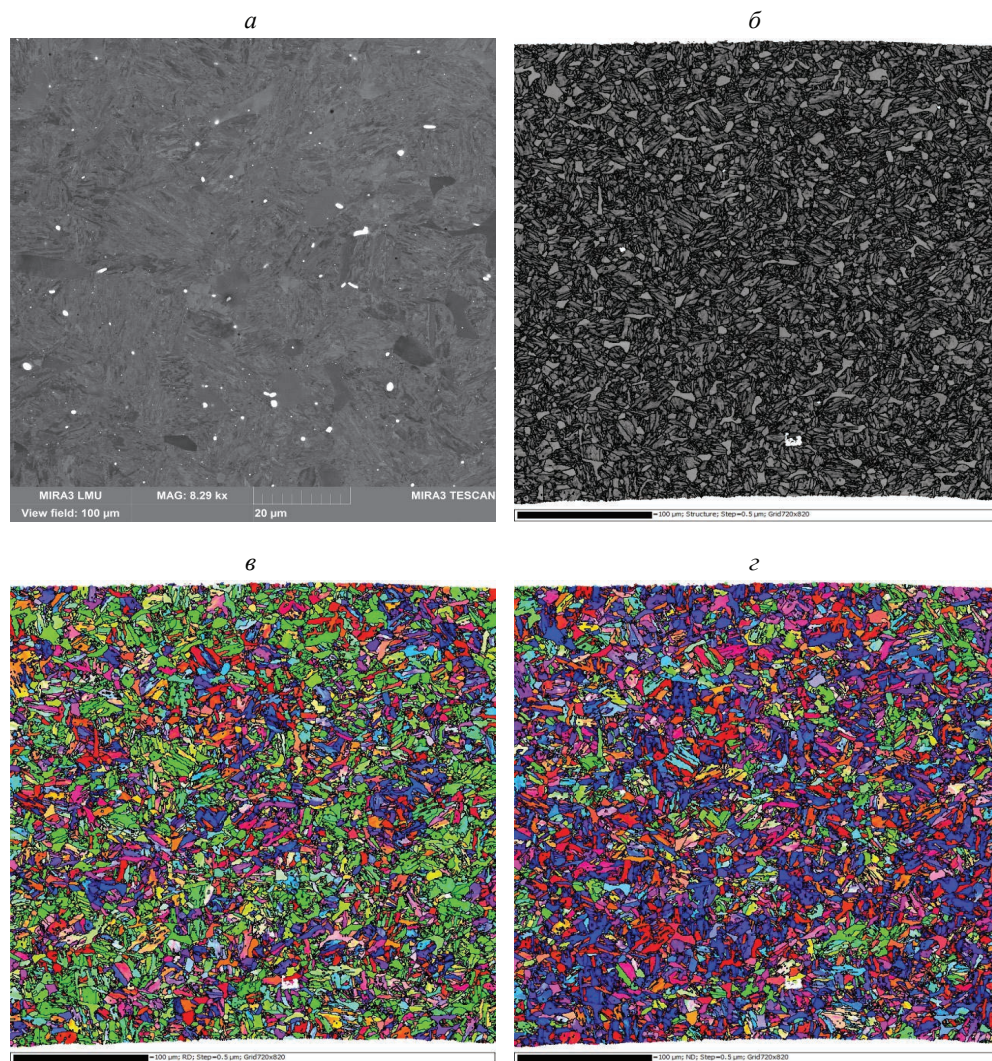


Рис. Структура стали X12 HMBBFCR после закалки и отпуска:

*a* — изображение, где структуры в отраженных электронах (СЭМ);  
*б, в, г* — ориентационные карты (EBSD); *б* — в обратно рассеянных электронах;  
*в, г* — ориентационные карты (EBSD) в цветах стандартного стереографического  
 треугольника с взаимно перпендикулярных направлений

### Литература

1. Конструкционные материалы ядерных реакторов: учебное пособие для вузов / Н. М. Бескорвайный [и др.]. М. : Энергоатомиздат, 1995. 704 с.

2. Effect of Grain Boundaries Type on Carbides Precipitates in Tempered Martensite / V.I. Pastukhov [et al.] // Materials Science Forum. 2019. V. 946. P. 368–373.

3. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография : учебное пособие для вузов. М. : Металлургия. 1976. 269 с.

4. Черняковский К. С. Стереология в металловедении. М. : Металлургия, 1977. 279 с.